



# Impact de l'organisation du marché: Comparaison de la négociation de gré à gré et des enchères descendantes.

Alan Kirman, Sonia Moulet

## ► To cite this version:

Alan Kirman, Sonia Moulet. Impact de l'organisation du marché: Comparaison de la négociation de gré à gré et des enchères descendantes.. 2008. halshs-00349034

**HAL Id: halshs-00349034**

**<https://shs.hal.science/halshs-00349034>**

Preprint submitted on 22 Dec 2008

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# **GREQAM**

**Groupeement de Recherche en Economie  
Quantitative d'Aix-Marseille - UMR-CNRS 6579  
Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales  
Universités d'Aix-Marseille II et III**

**Document de Travail  
n°2008-56**

## **IMPACT DE L'ORGANISATION DU MARCHÉ : COMPARAISON DE LA NEGOCIATION DE GRE A GRE ET DES ENCHERES DESCENDANTES**

**Alan KIRMAN  
Sonia MOULET**

**July 2008**



# Impact de l'organisation du marché: Comparaison de la négociation de gré à gré et des enchères descendantes

Alan Kirman et Sonia Moulet

## Introduction

"It is a peculiar fact that the literature on economics[...]contains so little discussion of the central institution that underlies neoclassical economics-the market." [North,1977, p710]

Pour l'essentiel de la littérature économique, le marché est considéré comme un mécanisme abstrait et les détails de son fonctionnement ne sont ni décrits ni analysés. Néanmoins, il est largement reconnu que l'organisation des marchés peut avoir un impact sur l'efficacité de l'allocation des ressources et sur la distribution des gains des échanges. Ceci explique l'attention qui a été consacrée aux modalités de vente des licences concernant les lignes téléphoniques pour les téléphones portables, les permis de polluer ou les bons de trésor. L'attribution des prix Nobel d'économie en 2007 pour les travaux sur le "Mechanism Design" témoigne de l'importance de ces considérations. Il existe une littérature importante sur les comparaisons théoriques entre différents mécanismes ou formes d'organisation (enchères, négociations décentralisées...) et sur les observations empiriques à partir des expériences en laboratoire. Mais, la difficulté la plus importante est de faire une comparaison directe afin d'étudier les résultats obtenus avec des mécanismes différents dans les mêmes circonstances. Pour illustrer ce problème, prenons l'exemple des ventes des licences téléphoniques. Des pays différents ont essayé des mécanismes différents qui aboutissent à des résultats très variés [e.g, Weber,1997, McMillan,1994]. Cependant, on ne peut pas affirmer que les différents mécanismes utilisés expliquent, à eux seuls, les variations de résultats. Des différences liées aux contextes et aux règles précises existent. Par exemple, si on veut comparer la différence des deux mécanismes mis en place en France et en Angleterre, on doit faire attention car on ne peut pas faire de comparaisons directes entre un

pays, comme l'Angleterre, où les prix et quantités sont décidés en une seule fois et un pays, comme la France, où des renégociations sont encore possibles. De plus, dans ce cas, la présence de séquentialité est un obstacle à la comparaison directe des résultats. Les ventes n'ont pas lieu au même moment. Les participants bénéficient donc de l'expérience acquise dans les ventes antérieures pour adapter leurs comportements. Il y a une asymétrie des joueurs à prendre en compte puisque tous n'ont pas les mêmes informations concernant par exemple les prix auxquels se sont réalisées les transactions passées.

Pour bien analyser l'impact des mécanismes de vente sur les marchés, nous avons décidé d'étudier des marchés ouverts pour le même type de produit, mais organisés d'une façon différente. Pour cela, nous construisons des modèles des marchés en question puis, en faisant des simulations, voir si les "faits stylisés" des marchés empiriques sont reproduits par ces modèles. Ceci est l'objectif du présent chapitre. En particulier, nous comparons à l'aide d'un modèle multi-agents deux types d'organisations fréquemment rencontrées dans les marchés de biens périssables : les enchères simultanées descendantes ou enchères hollandaises [Milgrom,1986, Milgrom,2004], et la négociation de gré à gré sans prix affichés [Muthoo,1999]. Notre approche consiste à étudier des populations d'agents artificiels -acheteurs et vendeurs- qui, par le biais de leurs expériences, vont apprendre à utiliser certaines règles de comportement ou "stratégies". Nous considérons deux types d'apprentissage : l'apprentissage de l'information pendant la journée et l'apprentissage des règles à travers les expériences dans le temps. Nous étudions le résultat d'un apprentissage (à base d'heuristiques) bien spécifié et nous déterminons si les allocations obtenues correspondent à certains critères d'efficacité. Il existe plusieurs critères d'efficacité. De façon générale, on dira qu'une situation est efficace si c'est un optimum de Pareto, dans le sens où on ne peut pas augmenter le profit d'un côté du marché sans diminuer le profit de l'autre côté du marché ce qui correspond ici à maximiser la somme des profits. En ce qui concerne les ventes aux enchères, le critère d'efficacité est défini par le revenu généré par la vente. Les enchères étaient conçues pour maximiser le profit des vendeurs [Milgrom,1986, Milgrom,2004], non celui des acheteurs. Pour les marchés avec négociations de gré à gré, deux critères entrent en jeu : (1) la présence d'inventaires et (2) le profit total généré par les rencontres. L'efficacité que nous considérons ici est liée à la somme des profits générés par une transaction. Notre but est de voir si un des deux mécanismes est favorable à un des deux groupes concernés, acheteurs et vendeurs.

Nous procédons en plusieurs étapes. D'abord, nous analysons le cas d'évolution unilatérale, où un seul côté du marché apprend. Puis nous passons au cas d'évolution bilatérale où les 2 côtés du marchés apprennent simultanément. Pour chaque cas, nous étudions le mécanisme d'enchères où

un commissaire priseur décide du prix d'ouverture de l'enchère, un vendeur décide du prix auquel il retire le bien (prix de fermeture) et un acheteur décide de son offre et connaît le prix auquel les biens sont vendus ou retirés de la vente. Puis nous étudions le cas de la négociation où les participants se rencontrent et négocient bilatéralement et de façon privée le prix d'une unité de bien. En nous calquant sur le marché de gros des fruits et légumes de Marseille [Kirman et al.,2005], nous spécifions le déroulement de la négociation comme suit. Le vendeur fait une première offre à l'acheteur. L'acheteur accepte ou fait une contre offre. Le vendeur accepte ou refuse. Les agents ne connaissent pas les prix des transactions dans lesquels ils n'interviennent pas et les vendeurs traite indépendamment chaque acheteur. Nous choisissons de tester deux populations d'acheteurs : homogènes ou hétérogènes et deux situations : l'offre est égale à la demande (pas de concurrence entre acheteurs) ou l'offre est inférieure à la demande (concurrence entre acheteurs). Dans le cas des enchères, un commissaire priseur sert d'intermédiaire, dans les de négociations, celles-ci ont lieu entre les paires d'individus.

Notre analyse est fondée sur des simulations informatiques, réalisées à l'aide d'un système multi-agents (SMA). Comme nous avons expliqué ces simulations ont pour but de mettre en évidence l'impact du mécanisme d'allocation sur les prix et les quantités échangées.

Les résultats des simulations mettent en évidence un problème de base en économie la difficulté des agents à apprendre simultanément. L'apprentissage se révèle plus efficace quand il ne concerne qu'un seul coté du marché. Nous avons montré ici que si les deux cotés du marché apprennent, les vendeurs n'optimisent pas leurs comportements ou plutôt qu'ils ne trouvent pas la meilleure réponse à la stratégie de leurs collègues.

Nous présentons successivement quelques généralités sur les systèmes multi-agents et la simulation sociale ainsi que la raison pour laquelle nous utilisons cette approche. Ensuite, nous explicitons l'approche générale du modèle et sa structure, les résultats des simulations et les conclusions que nous pouvons en tirer. Nous concluons sur la pertinence de l'outil utilisé et les perspectives de recherches ouvertes par ce travail.

# Les systèmes multi-agents

## Généralités

Un système multi-agents (SMA)<sup>1</sup> est un ensemble d'agents situés dans un certain environnement et interagissant selon une certaine organisation [Tsfatsion,2005]. Un agent est une entité caractérisée par le fait qu'elle est, au moins partiellement, autonome. On attribue à chaque agent des règles de comportement ou de réaction à l'environnement. Un agent peut être aussi bien un processus, un robot qu'un être humain. Étudiés depuis longtemps en intelligence artificielle, les systèmes multi-agents permettent une modélisation des sociétés humaines ou d'insectes par exemple. Au départ, l'idée de ce type de modélisation était d'analyser l'émergence des propriétés au niveau agrégé à partir de règles extrêmement simples au niveau individuel. Ce type de modèle a été récemment appliqué aux sciences humaines [Epstein & Axtell,1996, Amblard & Phan,2006, Tsfatsion,2005]. Les choix de la structure du modèle dépendent, en large mesure, de l'application en question. On peut supposer que des individus ont des règles simples qui restent fixes et ne changent pas avec le temps ou en réponse aux modifications de l'environnement. À l'inverse, on peut donner un certain degré de rationalité aux agents. Par exemple, on peut leur affecter des règles de prévision simplistes, puis supposer qu'une fois la prévision faite, l'agent calcule une stratégie optimale. En général, il faut spécifier l'information dont les individus disposent et comment cette information est traduite en choix d'actions. D'une façon plus ambitieuse, on peut supposer qu'au cours du temps, ces entités co-évoluent<sup>2</sup> non seulement du fait de leurs caractéristiques propres, mais aussi des interactions qu'elles ont avec leur environnement et avec les autres entités.

Le but de ce type de modélisation est de comprendre comment un ensemble d'agents peut agir de manière simultanée dans un environnement partagé, et comment cet environnement interagit en retour avec les agents. Implicitement au moins, on attribue à chaque agent une représentation de son environnement ainsi que des règles qui gouvernent son interaction avec les autres agents. S'agissant de la relation de l'agent au monde, celle-ci est souvent représentée par le modèle cognitif dont dispose l'agent. Dans le cadre d'une société humaine, on retient l'hypothèse d'un certain degré de rationalité dans le sens où l'individu d'une société multi-agents est supposé mettre en oeuvre les actions qui répondent au mieux à ses objectifs. Cette capacité décisionnelle reflète les perceptions, les représentations et les croyances de l'agent.

---

<sup>1</sup>En anglais, Agent-Based Simulation

<sup>2</sup>On dira que des entités co-évoluent si elles évoluent simultanément.

On peut aussi spécifier les liens directs entre les agents ou groupes d'agents. Ces interactions définissent les possibilités d'une part et les contraintes d'autre part. L'analyse des interactions entre agents permet d'étudier leur influence sur l'évolution de la société. Dans une économie, par exemple, on peut examiner le niveau de coopération et d'efficacité des normes qui émergent quand il y a interaction directe entre les agents [Axelrod,1984, Young,1993, Young,1998]. Sur un marché où les interactions sont bilatérales, par exemple, on peut analyser l'émergence de la fidélité entre acheteurs et vendeurs [Weisbuch,2000]. Comme nous l'avons mentionné, on peut aussi aborder la problématique de l'adaptation en terme d'adaptation individuelle ou d'apprentissage d'une part et d'adaptation collective ou d'évolution d'autre part [Vriend,2000]. Soit on considère que les règles qui ont plus de succès remplacent celles avec moins de réussite au niveau global, soit on considère que les agents modifient leurs comportements en fonction de leur expérience dans le passé.

## **Simulation de marchés artificiels**

Une fois le modèle défini, on peut attribuer des valeurs aux paramètres et effectuer les simulations. Chaque simulation est caractérisée par un état initial et une succession de transformations et d'actions faites par les agents. Si le système se stabilise, on analyse les caractéristiques des états qui sont atteints. On parle d'émergence pour décrire les phénomènes globaux qui se mettent en place et qui ne sont pas définis dans les actions individuelles [Heylighen,1991]. La modélisation multi-agents permet d'analyser la capacité d'un système, une économie ou un marché, à s'auto-organiser étant donnés les processus d'interaction et d'apprentissage supposés. Ainsi, dans des sociétés de fourmis artificielles dotées de caractéristiques homogènes, apparaît une différenciation entre les agents et une répartition des règles dans la quête de nourriture [Drougoul,2006]. En allant plus loin, pour décrire l'apparition de hiérarchies chez les humains, c'est également la quête de ressource qui est en général simulée, avec l'apparition de groupes dépendant d'un chef, qui peut perdurer au delà d'une action commune (Voir [Tessier,2005] pour une revue de cette littérature).

Comme en laboratoire, on s'attache à tester des hypothèses abstraites qui concernent des systèmes réels [Duffy,2006]. Cette méthodologie est de plus en plus utilisée par les économistes qui s'intéressent au fonctionnement des marchés opérés par des individus hétérogènes, en interaction les uns avec les autres, et n'ayant qu'une représentation partielle de leur environnement [e.g., Kirman & Vriend,2001, Brenner,2002, Rouchier,2004, Kirman,2006].

# Le mécanisme de formation des prix sur les marchés

En économie, on considère typiquement le marché comme un "lieu" abstrait où les agents n'interagissent qu'à travers les prix sans spécifier précisément comment ces prix sont formés. Mais en réalité, l'impact du mécanisme de formation des prix sur les marchés devrait être au coeur des réflexions de la théorie économique et de son application aux marchés réels. En effet, le terme "marché" recouvre à la fois une notion abstraite et une notion concrète. De fait, le marché de l'économiste n'est pas une modélisation des marchés concrets, lieux où se rassemblent des acheteurs et des vendeurs, et où les produits sont présents physiquement. Il existe parfois un grand écart entre les modèles théoriques et les marchés réels. Empiriquement, les formes des marchés sortent du cadre de la concurrence pure et parfaite du modèle de base de l'économie et se diversifient sous différentes formes : marché de gré à gré, marchés aux enchères ascendantes ou descendantes, à la criée, avec ou sans cadran, etc. L'apparition de certaines formes ne signifie pas que les autres formes sont dépassées. Pour le même type de produit, il existe des marchés organisés d'une façon très différente. Les marchés sont en évolution constante en fonction du comportement des participants et de la performance de l'institution [e.g, Aboulafia,1997]. Nombre de marchés de gré à gré (que certains appellent 'traditionnels') ont été rénovés et modernisés [Soufflet,1987] et de nouveaux marchés avec des types d'organisation différentes apparaissent<sup>3</sup> [voir McMillan,2004, pour une description détaillée des formes de marchés existantes].

**L'économie théorique** La littérature économique théorique s'avère partagée quant à l'efficacité des systèmes décentralisés. Les comparaisons sont effectuées dans le cadre d'un modèle où les agents attribuent chacun une valeur à l'objet qu'ils veulent obtenir. Ce qui est le cas typique des "valeurs privées"<sup>4</sup>. Cette valeur est inconnue pour les autres agents. [Myerson and Satterthwaite,1983] mettent en évidence que si les agents ont des valeurs privées, la négociation est toujours inefficace dans le sens mentionné précédemment. [Bulow & Klemperer,1996] montrent que sous certaines hypothèses, les enchères sont préférables lorsque les valeurs des enchérisseurs sont indépendantes. En considérant un environnement avec acheteurs et vendeurs hétérogènes, [Xiaohua & McAfee,1995] montrent que les enchères et les négociations de gré à gré conduisent à des équilibres mais que seul le système d'enchères admet des équilibres évolutionnairement stables<sup>5</sup>. [Manelli & Vincent,1995],

---

<sup>3</sup>Comme par exemple, la création en Islande de marchés avec différents types de ventes aux enchères.

<sup>4</sup>Chaque agent à sa propre valeur pour l'objet mis en vente. Il n'y a pas de valeur commune.

<sup>5</sup>La notion de stabilité évolutionnaire repose sur les changements provoqués par l'arrivée de nouveaux agents dans le jeu. Ces agents choisissent le marché qu'ils veulent intégrer en fonction des probabilités de rencontre et



en introduisant des biens qui ont des qualités différentes, montrent que la négociation, modélisée comme une succession d'offres séquentielles, peut parfois être plus efficace que les enchères. Les modèles qui sont utilisés pour obtenir ces résultats ont une structure très simple et la plupart des marchés empiriques violent les hypothèses sous-jacentes. Ceci ne serait pas très important si les résultats en question n'étaient pas extrêmement sensibles à la moindre modification.

**L'économie expérimentale** Parmi les études expérimentales qui comparent les négociations de gré à gré et les enchères descendantes, on peut citer [Roth et al.,1991] et [Progbena,2006]. La négociation de gré à gré (avec le "jeu de l'ultimatum"<sup>6</sup>) a été comparé par [Roth et al.,1991] à un système d'enchères avec un vendeur et neuf acheteurs. L'expérience a été réalisée en Israël, au Japon, aux Etats-Unis et en Yougoslavie. Les résultats de cette expérience convergent et il n'y a pas de différences significatives dans les paiements obtenus dans les différents pays<sup>7</sup>. Les prédictions théoriques prévoient que dans les deux situations un joueur reçoit la quasi-totalité du surplus. Dans les négociations de gré à gré, l'acheteur devrait recevoir la quasi-totalité du surplus et avec le système des enchères, le vendeur devrait recevoir la quasi-totalité du surplus. Cette différence disparaît totalement dans les résultats de leurs expériences. Les acheteurs reçoivent peu ou rien quelque soit le système. [Progbena,2006] utilise les données d'une expérience issue d'un jeu télévisé demandant à des joueurs de vendre en utilisant le système d'enchères et d'acheter par le biais de négociations bilatérales. Les joueurs sont des professionnels et des amateurs. Il apparaît que la négociation de gré à gré est plus profitable pour les vendeurs. Les résultats suggèrent aussi qu'il n'y a pas de corrélation entre les capacités liées à la négociation et le profit réalisé dans les enchères puisque amateurs et professionnels ne vendent pas à des prix significativement différents.

**L'économie empirique** L'étude des marchés réels fournit des réponses plus générales. Pour justifier de l'utilisation des différentes formes d'organisation dans les filières agro-alimentaires,

---

des paiements actuels qu'ils observent dans chaque système. Dire que seules les enchères sont évolutionnairement stables signifie que les nouveaux agents anticipant que l'équilibre va persister (communément appelé dans la théorie des jeux évolutionnaires une "invasion" d'agents) changent, à long terme, les profits espérés dans le marché décentralisé mais pas ceux du marché avec enchères. L'équilibre dans le marché décentralisé est donc instable puisque les agents n'anticipent pas ces changements.

<sup>6</sup>Le jeu de l'ultimatum est un jeu en deux étapes : Un joueur propose un prix. Le second joueur accepte ou refuse. S'il accepte, les agents concluent une transaction, s'il refuse les deux joueurs ont un profit nul.

<sup>7</sup>Résultat en contradiction avec ceux obtenus par [Henrich et al.,2001]

[Soufflet,1987] affirme que les marchés au cadran favorisent une solidarité entre offreurs [Vaudois,1985]. Au contraire, les marchés de gré à gré laissent les opérateurs individuels plus isolés, plus indépendants. Il y est cependant plus simple d'y ajouter des liens de fidélité entre acheteurs et vendeurs et de répondre aux exigences spécifiques des acheteurs dans la mesure où les quantités ne sont pas trop importantes. Ainsi, les formes de marché concurrentiel procurent des possibilités diverses d'expression du pouvoir économique.

Il est parfois possible d'observer une coexistence de deux structures de marchés à différentes échelles. [Rivaud,2004] le confirment pour le cas du capital-risque. A partir de données américaines, elles mettent en évidence la relation entre deux formes de marché : l'existence du marché d'enchères, antérieur au marché de gré à gré, permet au marché de gré à gré de se constituer. Les marchés de biens périssables, et en particulier le marché du poisson, ont été largement étudiés dans des contextes différents [voir, Kirman & Vignes,1991, Weisbuch,2000, Graddy,2006]

**L'apport de la modélisation orientée agents** La modélisation orientée agents complète les trois grandes approches utilisées en économie : l'économie théorique, l'économie expérimentale et l'économie empirique. Pour l'instant, la littérature sur l'organisation des marchés aboutit à des résultats qui ne semblent pas complètement tranchés. L'approche multi-agents a des avantages et des inconvénients par rapport aux trois approches citées.

L'économie théorique simplifie les modèles au maximum afin d'arriver à des résultats analytiques, et souffre ainsi du fait que les résultats sont difficiles à confronter aux données empiriques. Les hypothèses sur le comportement des individus sont restrictives, mais ne sont pas aussi spécifiques que pour les modèles multi-agents. Par rapport à l'économie théorique, les modèles multi-agents présentent un avantage dans le sens où ils permettent de relâcher l'hypothèse d'hyper rationalité des agents qui peut soulever des problèmes de logique [voir Binmore,1990] puisque les agents sont supposés capables de raisonner comme dans la théorie des jeux. Une hypothèse alternative à l'hypothèse d'hyper rationalité consiste à supposer que les stratégies gagnantes se reproduisent plus que les autres et que, par un processus de sélection naturelle, le système converge vers un équilibre de Nash, c'est à dire une situation où la stratégie de chaque participant est une meilleure réponse aux stratégies des autres. Cette approche enlève toute rationalité des agents et suppose que les agents, qui sont identifiés avec les stratégies perdantes, meurent et sont remplacés par les gagnants. Une approche intermédiaire est d'introduire un processus d'apprentissage et de voir si les agents apprennent à jouer des stratégies d'équilibre. Cette approche offre plus de similarités avec celle utilisée par l'approche multi-agents.

Les expériences permettent de mettre en évidence la faiblesse des hypothèses comportementales utilisées dans la théorie, mais les interactions entre les agents sont strictement contrôlées et limitent la diffusion d'information.

Les études empiriques consistent souvent à tester économétriquement des théories économiques au regard des données empiriques. On peut adopter cette approche simultanément à l'approche multi-agents, pour calibrer les paramètres ou valider des données générées par les modèles simulés en utilisant des tests statistiques. Le problème de savoir laquelle des deux approches, validation ou calibration, est préférable est d'ordre méthodologique mais dépend aussi de la nature des données disponibles.

## Structure du marché artificiel

### Structure de la demande commune aux deux mécanismes

La structure du modèle est une représentation informatique simplifiée des institutions de marchés empiriques de biens périssables. Le marché que l'on représente ici doit être vu comme un marché de gros. Les acheteurs ne sont pas des consommateurs directs, mais des revendeurs. Chaque acheteur connaît parfaitement sa fonction de demande sur son marché du détail. Nous supposons ici par souci de simplification, en nous concentrant sur le marché de gros, que la fonction de demande de l'acheteur  $i$  sur son marché du détail est de la forme :

$$D(p_r) = q_r^i = a^i - b^i p_r^i \text{ où } a^i \text{ et } b^i \text{ sont des entiers naturels} \quad (1)$$

où  $p_r^i$  et  $q_r^i$  correspondent respectivement au prix pratiqué et à la quantité revendue sur le marché de détail par l'acheteur  $i$ . A la fin de la journée  $t$ , un acheteur  $i$  peut, en fonction de la quantité totale achetée sur le marché de gros<sup>8</sup>  $q_r^i$ , calculer le gain  $\pi_t^i(q_r, p, q)$  obtenu à chacune de ses rencontres. Si lors d'une rencontre, l'acheteur  $i$  a acheté  $q^i$  unités pour un prix unitaire de  $p^i$ , le gain de la rencontre est donné par :

$$\pi_t^i(q_r^i, p^i, q^i) = q^i \cdot \frac{a^i - q_r^i}{b^i} - p^i q^i.$$

---

<sup>8</sup>Cette quantité est aussi la quantité revendue sur le marché du détail.

On suppose que dans le cas où l'acheteur participe à l'activité du marché sans que cela n'aboutisse à une transaction, l'acheteur supporte un coût fixe  $c$ . Encore une fois, pour simplifier et se focaliser sur le marché de gros, on considère l'offre globale,  $Q^0$ , comme fixée et exogène. On suppose, sans perte de généralité, que le coût de production du bien est nul. De plus, si un bien n'est pas vendu à la fin de la journée, il est perdu et ne peut pas être vendu le lendemain. L'offre globale est donc constante d'un jour à l'autre.

Nous supposons que tous les prix proposés évoluent de façon incrémentale et sont de la forme  $m\mu$  où  $m \in \{0 \dots 50\}$ . Tous les prix sont donc inclus dans l'intervalle noté  $[p_-, p_+]$  correspondant à  $[0, 5]$ . L'acheteur reste sur le marché tant que le profit marginal<sup>9</sup> en payant le plus bas prix possible<sup>10</sup> est positif. Le profit marginal de la  $n + 1$  ème unité est donné par la différence entre  $\pi_t^{n+1}$  et  $\pi_t^n$  où :

$$\pi_t^n = n \frac{a - n}{b} - \sum_{k=1..n} p_k$$

où  $p_k$  est le prix payé pour acquérir la  $k$ ème unité. On note ainsi le profit marginal généré par la  $n + 1$ ème unité achetée :

$$\delta\pi \equiv \pi_t^{n+1} - \pi_t^n = \frac{a - (2n + 1)}{b} - p_{n+1}. \quad (2)$$

Le profit marginal en payant 0 la  $n + 1$ ème unité est :

$$\delta\pi = \frac{a - (2n + 1)}{b}.$$

L'acheteur quitte donc le marché si

$$\delta\pi < 0 \iff n > \frac{a - 1}{2}.$$

On suppose donc que l'acheteur quitte le marché soit dès qu'il obtenu  $\frac{a-1}{2}$  biens soit quand il n'y a plus de biens en vente.

## Les enchères simultanées descendantes

Lors des enchères, un commissaire priseur annonce le prix d'ouverture de l'enchère, puis l'abaisse par étapes, jusqu'à ce qu'un candidat se déclare preneur. Le bien est alors attribué à

---

<sup>9</sup>Le profit marginal est le gain généré par l'acquisition d'une unité supplémentaire

<sup>10</sup>C'est à dire 0

ce candidat "le plus offrant", à un prix de cession égal à son offre, appelé "premier prix". Dans cette procédure, les offres des autres candidats restent inconnues mais ce prix de vente est révélé à tous les agents. S'il existe un prix de fermeture des enchères<sup>11</sup> qui est atteint alors le bien est définitivement retiré de la vente.

Ce type d'enchère rend la procédure d'allocation très rapide, c'est pourquoi il est utilisé pour la vente de denrées périssables. Il est, par exemple, utilisé aux Pays-Bas pour la vente des fromages et des fleurs coupées et au Japon pour la vente du poisson.

En se conformant au marché réel, on considère donc que trois types d'agents participent aux enchères : vendeurs, acheteurs et commissaire priseur. Pour chaque unité mise en vente, le vendeur décide du prix au dessous duquel il préfère ne pas vendre et le commissaire priseur fixe le prix auquel l'enchère débute. Les acheteurs doivent déterminer leurs niveaux d'enchères.

Chaque bien n'est mis en vente qu'une fois. Dès lors qu'un bien n'est plus en vente - soit parce qu'il a été vendu- soit parce que le prix minimum a été atteint- tous les acheteurs révisent leurs actions et le bien est remplacé.

## **Le marché décentralisé**

Les rencontres sont décentralisées et indépendantes. Les agents sont de deux types, acheteurs ou vendeurs. Chaque vendeur reçoit, par jour, un nombre d'unités fixes à vendre tel que le stock global est réparti uniformément entre les vendeurs. L'ordre des interactions est défini par un protocole de rencontre et les acteurs négocient localement les prix et quantités à échanger selon un protocole de négociation. Les acheteurs sont limités par le nombre de vendeurs qu'ils peuvent rencontrer. On introduit ainsi la notion de 'round'. Durant chaque round, un acheteur a la possibilité de rencontrer un vendeur et négocie le prix d'une unité de biens lors de chaque rencontre.

### **Les protocoles de rencontre et de négociation**

**Le protocole de rencontre** Dans la version du modèle analysée ici, nous ne considérons qu'un vendeur. Le vendeur va rencontrer successivement les acheteurs. Les négociations se feront alors bilatéralement et séquentiellement avec chacun des acheteurs potentiels selon leur place dans la file d'attente jusqu'à ce que le vendeur ait épuisé son stock. L'ordre des acheteurs dans la file d'attente du même round est décidé par le vendeur. Cet ordre est établi tel que le premier acheteur

---

<sup>11</sup>Ce prix est, très souvent, défini au préalable par le vendeur

avec qui le vendeur va négocier et celui avec qui il a réalisé le plus grand profit dans le passé. Il existe un protocole de rencontre plus élaboré pour le cadre de plusieurs vendeurs qui n'est pas traité ici.

## **Le protocole de négociation**

Considérons un acheteur  $i$  et un vendeur  $j$ .

1. Le vendeur  $j$  propose un prix ( $p_1$ ) et calcule un prix de réserve ( $p_2$ ).
2. L'acheteur  $i$  propose un prix  $p$ , inférieur ou égal à  $p_1$ .
3. Si  $p < p_2$ , il n'y a pas de transaction. Si  $p \geq p_2$ , il y a transaction au prix  $p$ .

## **Apprentissage et décisions des agents**

### **Généralités**

Dans un modèle multi-agents, l'apprentissage apparaît comme une recherche locale des opportunités locales, qui aboutit à des découvertes ou solutions qui sont sans cesse remises en question. Le caractère local de ces interactions induit de la part des acteurs une connaissance potentielle et imparfaite du marché. Les agents vont, en fonction de leurs expériences, apprendre quel est le meilleur comportement à adopter selon l'état de marché qu'ils perçoivent<sup>12</sup>. Les agents s'appuient sur les gains des actions réalisées et sur ceux des actions virtuelles dont le gain peut être calculé à partir de leurs croyances. Par exemple, si l'acheteur a fait une offre à  $x$  et que le vendeur l'a rejetée, il sait que toutes offres inférieures à  $x$  auraient été rejetées. De la même façon, si le vendeur a accepté cette offre, alors l'acheteur sait que toutes les offres supérieures à  $x$  auraient été acceptées.

Pour reprendre la terminologie utilisée pour décrire un apprentissage, nous pouvons qualifier l'apprentissage que nous considérons ici comme un apprentissage adaptatif et par renforcement. L'apprentissage est adaptatif, par opposition à anticipatif, car les agents modifient leur comportement sur la base du succès relatif des décisions prises dans le passé. L'apprentissage se fait par renforcement car nous considérons qu'un agent a tendance à utiliser une action plus fréquemment

---

<sup>12</sup>L'apprentissage représenté est connu sous le nom de "Experienced-Weighted Attraction learning (EWA)" [Camerer, 2003]. C'est une classe d'apprentissage qui se situe entre l'apprentissage par renforcement (reinforcement learning) et l'apprentissage basé sur les croyances (belief-based learning). Cet apprentissage utilise les deux types d'informations disponibles.

si elle est associée à de bons résultats dans le passé. Chaque décision est basée sur un système donné de classificateurs.

Un classificateur est une règle  $r$  de la forme :

SI condition ALORS action.

Il est composé d'une partie conditionnelle et d'une partie décrivant l'action accomplie si la règle est appliquée. Un ensemble fixe de règles est associé à chaque décision. Le système s'applique à sélectionner, parmi les classificateurs,  $r$ , le meilleur d'entre eux et met à jour son poids,  $w^r$ . Une fois la règle appliquée et le profit généré calculé, le poids de la règle est mis à jour. A l'initialisation du système, toutes les règles ont le même poids. Si à la date  $t$ , un classificateur utilisé a généré un gain moyen  $\pi_t^r$ , son poids est mis à jour de la façon suivante :

$$w_{t+1}^r = \gamma w_t^r + (1 - \gamma) \pi_t^r \text{ avec } 0 < \gamma < 1 \quad (3)$$

où  $w_t$  est le poids associé à la règle  $r$  en  $t$ ,  $\pi_t^r$  est le profit généré par cette action à la date  $t$  et  $\gamma$  est un taux d'actualisation.

Si la règle n'est pas appliquée, mais que sa partie conditionnelle a été activée, il y a deux possibilités. Soit l'agent sait calculer le profit moyen 'virtuel' de cette règle, noté aussi  $\widetilde{\pi}_t^r$ , et son poids est mis à jour de la façon suivante :

$$w_{t+1}^r = \gamma w_t^r + (1 - \gamma) \widetilde{\pi}_t^r. \quad (4)$$

Soit, l'agent ne peut pas calculer le profit espéré de cette règle et il ne change pas le poids de la règle.

Lorsqu'une règle doit être utilisée, le système sélectionne toutes les règles qui ont leurs parties conditionnelles activées (on note  $S$  cet ensemble de règles) et la probabilité qu'une règle  $r$  soit choisie est :

$$\frac{\exp(\beta w_t^r)}{\sum_{w_j \in S} \exp(\beta w_t^j)}. \quad (5)$$

Cette règle, appelée "règle logit", peut-être déduite à partir de la maximisation d'une fonction de coût qui exprime un compromis, communément appelé *exploration versus exploitation*. Lorsque  $\beta = 0$ , le choix de la règle est aléatoire (il n'y a pas exploitation mais uniquement exploration). Puis, plus  $\beta$  est élevé, plus l'acheteur favorise les actions qui lui procurent un profit immédiat élevé (il y a de moins en moins d'exploration).

Enfin, dans le modèle, nous supposons que l'apprentissage des agents est parallèle, dans le sens où les gains associés à son action ne seront connus qu'à la fin de chaque journée et calculés parallèlement par tous les agents. Dans le cas de la négociation de gré à gré, l'apprentissage est purement individuel, par opposition à social, puisque toute modification du comportement d'un agent économique est basée uniquement sur ses propres expériences. En revanche, dans le cas des enchères, l'apprentissage peut être qualifié de social puisque les prix de vente sont révélés publiquement et qu'ils sont utilisés par les agents.

## Les enchères

### Règles décisionnelles

Les décisions des agents sont basées sur des systèmes de classificateurs. Un vendeur décide du prix de fermeture des enchères, puis le commissaire priseur calcule son prix d'ouverture sachant qu'il doit être supérieur au prix de fermeture décidé par le vendeur. Les décisions du vendeur et du commissaire priseur n'ont pas de parties conditionnelles. Elles sont du type :

$$\textit{Ouvrir les enchères à } P_{max} = x.$$

De la même façon, le vendeur calcule le prix de fermeture des enchères. Les règles sont du type :

$$\textit{Fermer les enchères à } P_{min} = x.$$

Une fois le bien mis en vente, chaque acheteur décide du prix auquel il est prêt à enchérir, on appelle cette valeur, sa valeur de réservation. Si le prix d'ouverture de l'enchère est supérieur ou égal à sa valeur de réservation, l'acheteur se prépare à enchérir à sa valeur de réservation. Si le prix d'ouverture de l'enchère est inférieur à la valeur de réservation, l'acheteur enchérit au prix d'ouverture de l'enchère. Cette décision est conditionnelle au vendeur qui propose le bien. Les règles sont du type :

$$\textit{Si le vendeur } s \textit{ propose le bien, alors enchérir à } x.$$

### Gain généré par les règles

**Acheteur** Les mises à jours des poids des règles se font à la fin de la journée de marché. En tenant compte de la quantité de biens  $q_r$  qu'ils ont acheté sur le marché de gros, et de celle qu'ils auraient pu acheter, les acheteurs calculent d'abord le prix de vente sur le marché du détail puis,



le gain de chacune des actions utilisées sur le marché de gros. On note  $p_{opt}$  le prix de vente sur la marché du détail lorsque l'agent a acheté la quantité maximale. Le but premier de l'acheteur est d'acquérir cette quantité ; il évaluera différemment le gain généré par les règles selon la quantité qu'il a acheté.

(A) Si l'acheteur a acheté sur le marché de gros la quantité qu'il désire, il sait que, si à chaque fois qu'il avait gagné l'enchère, il avait enchéri à un prix plus élevé, il aurait aussi eu le bien mais aurait fait un profit moindre. Si l'acheteur avait enchéri à un prix plus bas, il ne sait pas s'il aurait eu le bien. Si on note  $p$  le prix de la transaction, il sait uniquement le profit qu'il aurait eu s'il avait acheté l'unité à n'importe quel prix  $x$  supérieur ou égal à  $p$  :

$$\pi = p_{opt} - x.$$

(B) Si l'acheteur n'a fait aucune transaction, il a reçu des informations concernant les prix de vente des biens. L'acheteur utilise cette information pour mettre à jour le poids des règles qui lui auraient permis de gagner l'enchère. L'acheteur a pour but de gagner  $q_{opt}$  enchères. Il regarde ainsi les  $q_{opt}$  enchères qui ont amené au prix les plus bas. L'acheteur sait alors que s'il avait enchéri à un prix,  $x$ , plus élevé que le prix de vente de ces enchères, il l'aurait remporté et aurait eu un profit  $\pi = p_{opt} - x$ . Il sait aussi que s'il avait enchéri à n'importe quel prix de vente inférieur à ce prix,  $x$ , il aurait reçu  $\pi = 0$ .

(C) Si l'acheteur a remporté un nombre d'enchères inférieur au nombre optimal, il combine les 2 méthodologies ci-dessus. L'acheteur utilise la méthode (A) pour mettre à jour les règles qui lui ont permis d'acquérir les biens. Il utilise la méthode (B) pour mettre à jour le poids des règles qui lui auraient permis d'acquérir les biens manquants.

**Vendeur** Si le vendeur se propose  $P_{min}$ , mais le bien est vendu à  $x' > P_{min}$ , alors il peut calculer le gain des actions "fermer les enchères à  $P_{min} = y$ " :

$$\pi = \begin{cases} x' & \text{si } y \leq x' \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Si le vendeur propose de poser un prix minimum,  $P_{min} = x$ , mais que le bien n'est pas vendu, alors il peut calculer le gain des actions "fermer les enchères à  $P_{min} = y$ " pour  $y \geq x$  :

$$\pi = 0^{13}$$

**Commissaire priseur** Si le commissaire priseur ouvre les enchères au prix  $P_{max}$ , mais que le bien est vendu au prix de  $x$ , il peut calculer le profit  $\pi$  des actions "ouvrir les enchères à  $y$ ".

$$\pi = \begin{cases} y & \text{si } y \leq x \\ x & \text{sinon} \end{cases}$$

Si le commissaire priseur ouvre les enchères à  $P_{max}$ , mais que le bien est retiré de la vente à  $x$ , il peut calculer le profit  $\pi$  des actions "ouvrir les enchères à  $z$ ".

$$\pi = 0 \text{ si } z \geq x$$

Supposons que le commissaire priseur est choisi d'ouvrir l'enchère à 4. Il y a deux cas possibles, soit un acheteur enchère et remporte l'enchère (cas 1), soit le bien est retiré de la vente au prix de fermeture décidé par le vendeur (cas 2). Dans le premier cas, supposons que le bien soit cédé à un acheteur à 3, le commissaire priseur sait que s'il avait choisi n'importe quel prix d'ouverture supérieur à 3, le bien aurait été vendu à 3. S'il avait choisi un prix d'ouverture inférieur à 3, le bien aurait été vendu exactement au prix d'ouverture puisque les acheteurs n'auraient pas enchéri pas à un prix plus élevé que le prix d'ouverture. Dans le second cas, supposons que le bien soit retiré de la vente par le vendeur à 3, le commissaire priseur sait que s'il avait choisi n'importe quel prix d'ouverture supérieur à 3, le bien aurait aussi été retiré de la vente à 3 par le vendeur.

---

<sup>13</sup>L'intuition est la suivante : supposons que le vendeur pose un prix de fermeture égal à 3. Deux cas sont possibles. Soit le bien est vendu (cas 1) soit il ne l'est pas (cas 2).

Considérons le premier cas et supposons que le bien soit cédé à un acheteur à 4. Le vendeur sait que le bien aurait aussi été vendu s'il avait choisi n'importe quel prix de fermeture inférieur à 4. En revanche, il sait que le bien n'aurait pas été vendu s'il avait posé un prix de fermeture strictement supérieur à 4 puisque aucun acheteur n'aurait enchéri. Considérons le second cas dans lequel aucun acheteur n'a enchéri. Le vendeur sait alors qu'aucun acheteur n'est prêt à enchérir à un prix supérieur à 4. Il sait donc qu'en choisissant un prix de fermeture supérieur ou égal à 4, il n'aurait pas vendu le bien. En revanche, il ne sait pas si en choisissant un prix inférieur à 4, un acheteur aurait enchéri.

## Le marché de gré à gré

### Règles décisionnelles

**Acheteur** Le prix  $p$  que l'acheteur propose est conditionnel au vendeur avec qui l'acheteur négocie. Les règles sont de la forme :

*Si le vendeur  $s$  propose le bien, alors faire une offre à  $x$  .*

**Vendeur** Le vendeur décide du premier prix qu'il propose  $p_1$  et du prix limite  $p_2$  qu'il est prêt à accepter durant la négociation. Les règles sont conditionnelles à l'identité de l'acheteur engagé dans la négociation.

*Si l'acheteur est  $b$ , alors ouvrir à  $p_1 = x$  .*

*Si l'acheteur est  $b$ , alors ne pas accepter d'offres inférieures à  $p_2 = x$*

### Gain généré par les règles

**Acheteur** Si l'acheteur conclut une transaction avec un vendeur, il anticipe que s'il avait fait une offre plus élevée, il aurait aussi acheté le bien mais, il aurait réalisé un profit moindre. Si la transaction a été conclue au prix  $p$ , il sait que quelque soit le prix  $x$  qu'il aurait proposé,  $x > p$ , il aurait réalisé un profit  $\pi = p_{opt} - x$ . Il ne sait pas si les offres inférieures auraient été acceptées. Il ne met pas à jour leurs poids. Si le vendeur refuse une offre  $p$ , l'acheteur anticipe que s'il avait fait une offre inférieure, il aurait perdu la transaction et aurait ainsi reçu un profit  $\pi = 0$ . Cependant, l'acheteur ne peut pas prévoir quel aurait été son profit s'il avait enchéri à un prix plus haut. L'acheteur ne met donc pas à jour le poids de ces règles.

### Vendeur

(A) Pour le prix d'ouverture de la négociation, supposons que le vendeur ait demandé le prix,  $p_1$ . Si le bien a été vendu à  $p$ , le vendeur sait que pour tout prix  $p_1 \geq p$ , le profit aurait été  $\pi = p$ . Mais pour tout prix  $p_1 < p$ , le profit aurait été  $\pi = p_1$  car l'acheteur fait une offre égale à  $p$ . Si le bien n'a pas été vendu, alors le profit est  $\pi = 0$ . Il en aurait été de même quel que soit la valeur de  $p_1$ .

(B) Pour le prix de fermeture du vendeur<sup>14</sup>, supposons que le vendeur ait choisi un prix de fermeture,  $p_2$ . Si le bien a été vendu à  $p$ , le vendeur sait que pour tout prix  $p_2 > p$ , le profit

---

<sup>14</sup>offre minimale qu'il est prêt à accepter

Paramètres	Notation	Réfère à	
		Enchères	négociation
Paramètres de la fonction de demande	$a^i$ et $b^i$	*	*
Coût supporté par l'acheteur en cas de non transaction	$c$	*	*
Offre totale	$Q^0$	*	*
Taux d'actualisation	$\gamma$	*	*
Paramètre de discrimination	$\beta$	*	*
Prix maximum de vente et/ou d'achat	$p_+$	*	*
Prix minimum de vente et/ou d'achat	$p_-$	*	*

TAB. 1 – Liste des paramètres

aurait été  $\pi = 0$ . Mais pour tout prix  $p_2 \leq p$ , le profit aurait été  $\pi = p$  (l'acheteur aurait fait une offre égale à  $p$  ne connaissant pas  $p_2$ ). Si le bien n'a pas été vendu, alors le profit est  $\pi = 0$ . Le profit aurait été le même pour tous les prix de fermeture supérieur ou égal à  $p_2$ .

## Principales différences et liste des notations

Les deux mécanismes diffèrent dans l'ordre des actions. Dans les enchères, les acheteurs participent simultanément aux ventes et le plus offrant remporte l'enchère. Ils sont en concurrence directe. Les acheteurs savent à quel prix les biens sont enlevés de la vente et ils tiennent compte de cette information dans le processus d'apprentissage. Dans la négociation de gré à gré, les acheteurs négocient bilatéralement et de façon privée avec les vendeurs. Ils n'ont pas accès aux données concernant les transactions des autres agents. Leur apprentissage n'est basé que sur leurs propres transactions. Enfin, le prix limite du vendeur n'est jamais connu par l'acheteur, mais l'offre de l'enchère, qu'elle entraîne ou non une transaction, est toujours révélée au vendeur.

## Calibration du modèle

Toutes nos simulations sont faites sur 20000 jours. Pour étudier l'impact du paramètre de discrimination ( $\beta$ ) et calibrer correctement le modèle, nous utilisons la méthode du **recuit simulé**<sup>15</sup>.

<sup>15</sup>La méthode du recuit simulé repose sur une analogie avec le comportement de la matière condensée lorsqu'elle passe d'un état liquide, caractérisé par un grand désordre, à un état solide, bien ordonné, de type monocristallin (état d'énergie minimale); une telle transformation est obtenue par une diminution lente de la température, que l'on appelle un "recuit": l'application de ce procédé à un problème de minimisation de coût - moyennant l'introduction d'un paramètre de contrôle analogue à la température - aboutit à la méthode du "recuit simulé". L'algorithme

Cette méthode consiste à augmenter la valeur du paramètre  $\beta$  (paramètre de la règle logit) par palier au fur et à mesure des simulations (FIG. 1).

Pour assurer une convergence du système, on doit choisir la valeur finale que prend le paramètre,  $\beta$ , en fonction des profits générés par l'utilisation des règles [Weisbuch,2000]. Pour tous les profits  $\pi$  réalisables par le agents, on doit avoir :

$$\beta\pi > R \quad (6)$$

où  $R$  est le nombre de règles par partie conditionnelle et  $\pi$  les profits que les agents peuvent recevoir. Nous avons choisit l'unité des prix,  $\mu = 0.1$ , il y a donc 50 valeurs de prix possibles. On doit évaluer les  $\pi_{max}$ , se situer à  $\beta\pi_{max} > 50$  et regarder la convergence des actions du commissaire priseur, des vendeurs et des acheteurs en fonction de leurs paramètres de discrimination,  $\beta$ .

Pour les vendeurs et le commissaire priseur, le profit maximum par transaction est de l'ordre de  $p_+$ <sup>16</sup>, le prix maximum qu'un acheteur peut être prêt à payer. Le coût de production du vendeur étant 0, son profit maximum est de l'ordre de  $p_+$ . De la même façon, en utilisant l'expression de la fonction de demande de l'acheteur donnée par l'équation 1, on sait que si l'acheteur acquiert une unité au prix 0, son profit maximum est  $(a - 1)/b$ .

On choisit donc de considerer  $\beta$  dans l'intervalle  $[0, 32]$  pour assurer que les inégalités  $\beta \frac{a_i - 1}{b_i} > 50$  et  $\beta.p_+ > 50$  soit vraies à long terme pour les valeurs des paramètres utilisées plus tard ( $p_+ = 5$ ,  $a_i = 6$  et  $b_i \in [1, 3]$ .)

Nous choisissons de nous focaliser ici sur l'impact des informations détenues par les agents et les différences des deux systèmes énoncées dans la partie précédente. On choisit ainsi de représenter les résultats avec un seul vendeur. Dans le cas des enchères, les acheteurs connaissent tous les prix des transactions ou les prix auxquels les biens sont retirés de la vente. Dans le cas des négociations, les acheteurs ne connaissent que leurs propres expériences. Ils ne connaissent ni les quantités achetées par les autres acheteurs, ni les prix des transactions et les vendeurs ont la possibilité de discriminer les acheteurs entre eux mais n'utilisent pas l'expérience qu'ils ont avec un acheteur pour décider des actions qu'ils entreprennent avec un autre acheteur.

---

consiste essentiellement à partir d'une " configuration " initiale, puis à faire évoluer le système par des transformations élémentaires. L'enchaînement de ces modifications est guidé de manière à simuler l'évolution d'un système dynamique vers son équilibre. L'augmentation progressif, par paliers, du facteur  $\beta$  permet alors, en principe, d'atteindre les minimums globaux de la fonction de coût du problème d'optimisation i.e. d'atteindre les maximums globaux des fonctions de profit des agents.

<sup>16</sup>supposé égal à 5

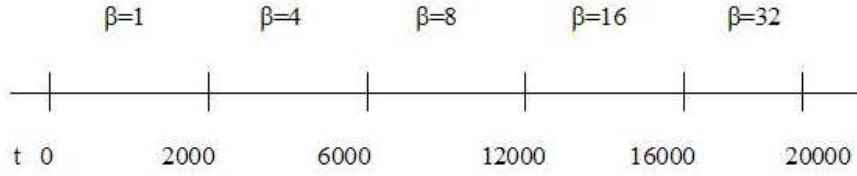


FIG. 1 – Méthode du recuit simulé : Cette méthode consiste à augmenter  $\beta$  par palier afin d'atteindre une situation où les agents auront appris les comportements optimaux.

## Simulations

Nous voulons vérifier quelle organisation permet aux agents de recevoir les meilleurs profits et d'échanger le plus de biens. Nous testons l'évolution du système en cas d'évolution unilatérale et d'évolution bilatérale. En cas d'évolution unilatérale, un seul côté du marché évolue, alors que dans le cas d'évolution bilatérale, les deux populations évoluent. Nous choisissons aussi de tester deux populations d'acheteurs : homogène ou hétérogène. Nous considérons enfin que l'offre est égale à la demande (situation sans concurrence entre les acheteurs) ou inférieure à la demande (situation avec concurrence).

Si les acheteurs sont homogènes, ils ont tous la même fonction de demande :  $D(p_r) = q_r = 6 - 2p_r$ . Ils quittent donc automatiquement le marché dès qu'ils ont acheté 3 biens. Si les acheteurs sont hétérogènes, l'hétérogénéité porte sur le paramètre de la fonction de demande  $b$ . Les acheteurs ont des valeurs limites différentes<sup>17</sup>. On suppose que  $b_i = 1, 2$  et  $3$  respectivement pour les acheteurs 1, 2 et 3 et  $a_i = 6$ .

Une fois la population d'agents fixée, nous testons 2 valeurs de l'offre globale. Dans le premier cas, il y a assez de biens pour satisfaire la totalité de la demande. Etant donnée, la population d'acheteurs (3 acheteurs voulant chacun 3 unités) on considère que l'offre globale  $Q^0 = 9$ . Nous dirons que ce premier cas correspond à une situation sans concurrence entre les acheteurs. Dans le second cas, nous considérons qu'il n'y a pas assez de biens pour satisfaire la demande globale. Nous considérons que  $Q^0 = 6$ , c'est à dire qu'il manque 3 biens pour satisfaire la demande globale.

Enfin, nous considérons deux cas d'évolution ; dans un premier temps, nous nous focalisons sur l'évolution du système lorsqu'un seul côté du marché apprend et l'autre a une stratégie fixée. Dans un second temps, nous nous focalisons sur l'évolution bilatérale du système. Nous

<sup>17</sup>On appelle valeur limite d'un acheteur, la plus haute valeur de réservation qu'il peut proposer.

considérons ainsi que les 2 cotés du marchés apprennent simultanément.

## Résultats

### Evolution unilatérale

Nous présentons les résultats des simulations en deux parties. La première partie réfère au cas avec concurrence et la seconde partie réfère au cas sans concurrence. Dans chaque partie, nous traitons 4 cas :

Les acheteurs homogènes évoluent, le vendeur a une stratégie fixée. Il est prêt à accepter toutes les offres positives.

Les acheteurs hétérogènes évoluent, le vendeur a une stratégie fixée. Il est prêt à accepter toutes les offres positives.

Le vendeur évolue, les acheteurs sont homogènes et ils sont tous prêts à enchérir ou à proposer de payer le même prix (supposé égal à 2). Si le prix d'ouverture (des enchères ou de la négociation) est inférieur à 2, ils proposent le prix d'ouverture.

Le vendeur évolue, les acheteurs hétérogènes ont des stratégies fixées mais hétérogènes. Chaque acheteur  $i$  est prêt à payer un prix  $i$ . Si le prix d'ouverture (des enchères ou de la négociation) est plus faible que ce prix, l'acheteur propose le prix d'ouverture choisit par le vendeur ou le commissaire priseur.

### Cas sans concurrence entre les acheteurs

**Les acheteurs évoluent, le vendeur a une stratégie fixée** Nous supposons que le vendeur ferme automatiquement les enchères à 0 dans le cas des enchères et accepte toutes les offres supérieures à 0 durant les négociations.

Après 4000 périodes pour la négociation de gré à gré et 6000 périodes pour les enchères, la stratégie sélectionnée par les acheteurs, qu'ils soient homogènes ou hétérogènes ne consiste à n'enchérir qu'au prix acceptable le plus bas, c'est à dire 0 (voir FIG. 2).

**Le vendeur évolue, les acheteurs homogènes ont tous la même stratégie** Nous supposons que les acheteurs ont une valeur de réservation fixe. On suppose cette valeur égale à 1.5. Les simulations montrent que le vendeur apprend à sélectionner les stratégies qui lui permet de faire

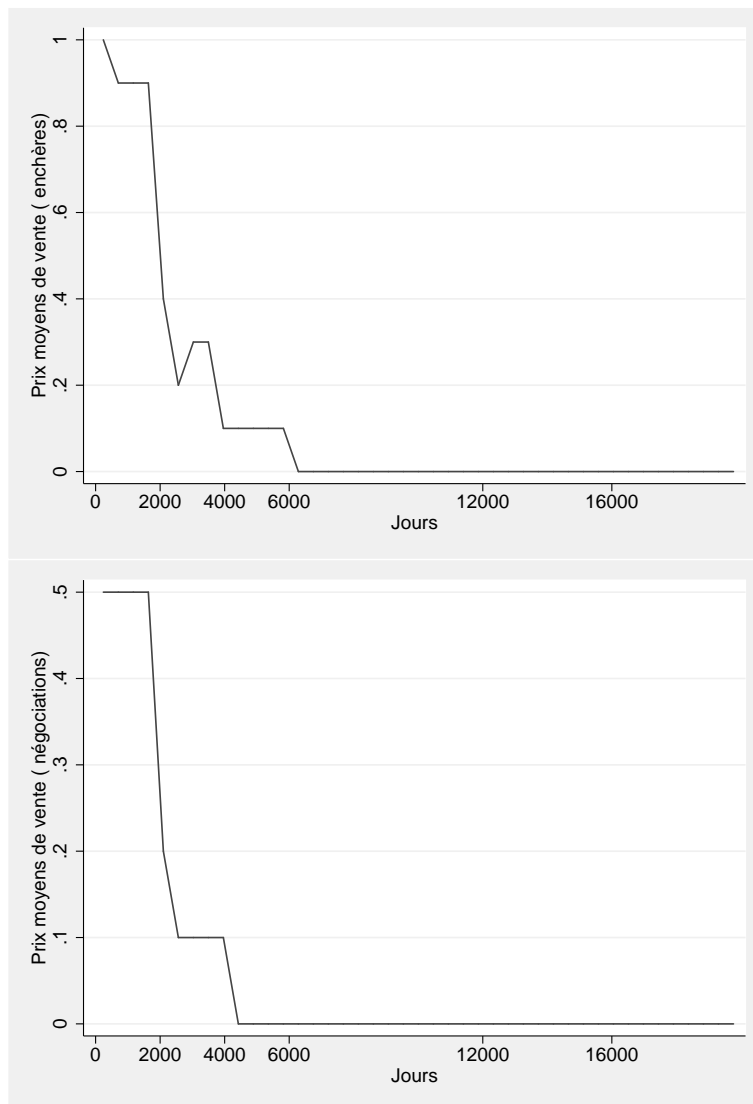


FIG. 2 – Convergence des prix moyens de vente lorsque le vendeur a un prix limite de 0. Le graphique du haut (resp. du bas) correspond aux prix de vente pratiqués dans le cas des enchères (resp. négociation de gré à gré). Les graphiques montrent que quelque soit le mécanisme (enchère ou négociation), les acheteurs apprennent à enchérir au prix minimum acceptable par le vendeur, supposé ici égal à 0.



payer exactement aux acheteurs leur valeurs de réservation. Il élimine toutes les stratégies qui consistent à ne pas récupérer tout le surplus. Les minima qui sont supérieurs à 1.5 sont ainsi éliminés car ils induiraient une absence de transaction et les maxima qui sont inférieurs à 1.5 sont éliminés car ils induiraient une transaction à un prix plus faible. Les graphiques de la figure 3 présentent l'évolution des valeurs choisies au cours des simulations pour les deux types de mécanismes. Les zones blanches correspondent aux stratégies non utilisées. Après 4000 périodes, les prix de fermeture supérieurs à 1.5 et les prix d'ouverture inférieurs à 1.5 ne sont plus utilisés. Les autres actions, c'est à dire celle qui permettent aux acheteurs d'encherir à 1.5 restent utilisées et sont équivalentes puisqu'elles induisent toutes le même profit.

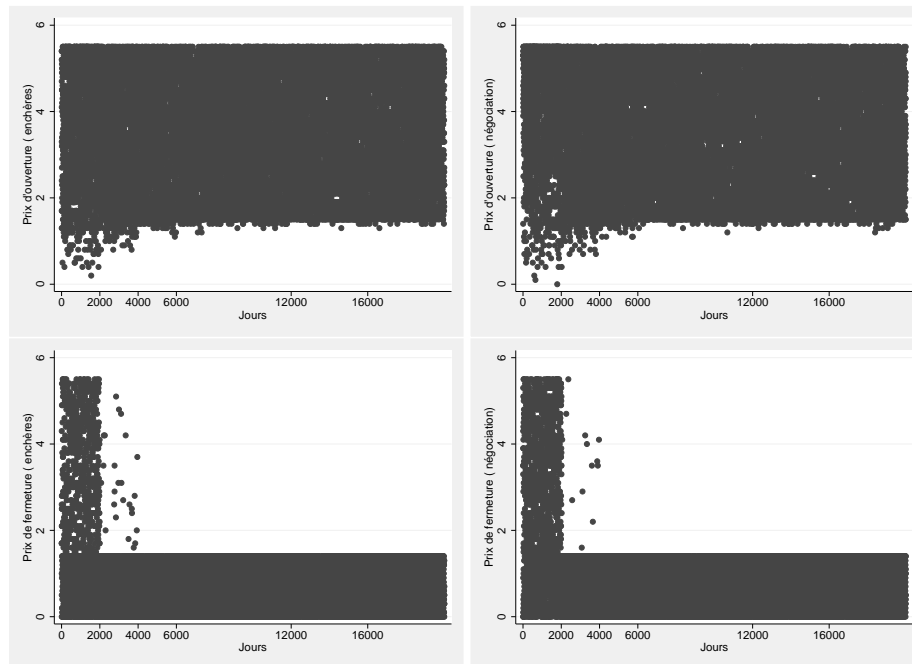


FIG. 3 – Convergence des prix d'ouverture (graphiques du haut) et de fermeture (graphiques du bas) des vendeurs (ou du commissaire priseur) lorsque les acheteurs ont une valeur de réservation égale à 1.5. Les graphiques de gauche réfèrent au cas des enchères. Les graphiques de droite réfèrent au cas des négociations de gré à gré. Sur chaque graphique, les parties blanches correspondent aux valeurs qui ne sont pas pratiquées et les parties colorées sont celles qui sont pratiquées. Ces graphiques présentent l'évolution des valeurs choisies au cours des simulations pour les deux types de mécanismes. Nous avons supposé ici que tous les acheteurs étaient prêts à enchérir aux prix de 1.5 ; Après 4000 périodes, les prix de fermeture supérieurs à 1.5 et les prix d'ouverture inférieurs à 1.5 ne sont plus utilisés. Les autres actions, c'est à dire celle qui permettent aux acheteurs d'encherir à 1.5 restent utilisées et sont équivalentes puisqu'elles induisent toutes le même profit.

### Le vendeur évolue, les acheteurs hétérogènes ont des stratégies fixées mais hétérogènes

Les acheteurs 1, 2 et 3 ont des valeurs de réservation différentes, respectivement à 1, 2 et 3. Dans le cas des enchères, les stratégies que le vendeur et le commissaire priseur sélectionnent sont : *ouvrir les enchères à un prix supérieur à 3* et les *fermer à un prix inférieur à 1*. Ils éliminent toutes les autres stratégies. Ces stratégies se révèlent optimales puisqu'elles permettent aux acheteurs d'enchérir à leur valeur de réservation. Le vendeur obtient ainsi la totalité du surplus possible (FIG. 4).

Dans le cas des négociations le vendeur, ayant la possibilité de discriminer ses acheteurs, apprend correctement à extraire le surplus lors de chacune de ses rencontres. Avec chaque acheteur, le vendeur ayant la possibilité de discriminer les acheteurs, n'ouvre les négociations qu'avec des prix supérieurs à la valeur de réservation de l'acheteur avec qui il négocie et calcule le prix de fermeture de façon à ce qu'il y ait toujours une transaction. C'est à dire qu'il ne 'se propose' que des prix de fermeture inférieurs à la valeur de reservation de l'acheteur avec lequel il négocie.

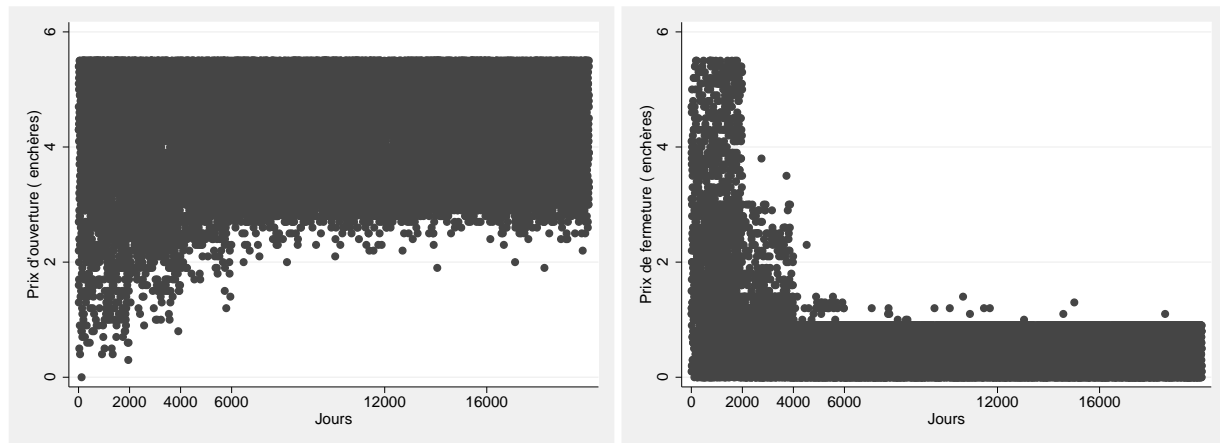


FIG. 4 – Convergence des prix d'ouverture (graphiques du haut) et de fermeture (graphiques du bas) des vendeurs (ou du commissaire priseur) lorsque les acheteurs ont des valeurs de réservation égale à 1, 2 et 3. Les graphiques de gauche réfèrent au cas des enchères. Les graphiques de droite réfèrent au cas des négociations de gré à gré. Sur chaque graphique, les parties blanches correspondent aux valeurs qui ne sont pas pratiquées et les parties colorées sont celles qui sont pratiquées. Les graphiques nous permettent de voir que, pour les enchères, les stratégies que le vendeur et le commissaire priseur sélectionnent sont : *ouvrir les enchères à un prix supérieur à 3* et les *fermer à un prix inférieur à 1*.

## Cas avec concurrence entre les acheteurs

**Les acheteurs homogènes évoluent, le vendeur a une stratégie fixée.** Le vendeur est prêt à accepter toutes les offres supérieures à son prix de réserve que nous fixons à 0. La présence de concurrence ne n'a pas d'impact sur les résultats obtenus dans le cas des négociations décentralisées puisque le vendeur rencontre séquentiellement les acheteurs un par un sans pouvoir tenir compte du fait qu'un acheteur qui est prêt à payer plus cher peut arriver. Il accepte systématiquement les offres supérieures à 0. Dans le cas des enchères, même si le prix de réserve du vendeur est 0, les prix des transactions sont supérieurs à 0 et convergent vers 1.15(0.05). Les 6 biens disponibles sont répartis équitablement entre les 3 acheteurs puisqu'en moyenne chaque acheteur acquiert 2 biens par jour.

**Les acheteurs hétérogènes évoluent, le vendeur a une stratégie fixée.** Le vendeur est prêt à accepter toutes les offres. Dans le cas des enchères, les prix des transactions convergent vers 1.02(0.01) et tous les biens sont vendus. Cependant, contrairement au cas précédent, seuls deux acheteurs, les acheteurs 1 et 2 ont accès aux biens. Ils achètent chacun deux biens par jour. Le troisième acheteur n'a pas accès aux biens. Il n'enchère pas au dessus du prix proposé par les autres acheteurs. Il préfère ne pas enchérir plutôt qu'enchérir à un prix qui lui procurerait un profit négatif. Dans le cas des négociations décentralisées, il n'y a pas de changement par rapport au cas sans concurrence puisque les acheteurs rencontrent séquentiellement le vendeur.

**Le vendeur évolue, les acheteurs homogènes sont tous prêts à enchérir ou à proposer de payer le même prix (supposé égal à 1.5).** Dans le cas des enchères, les 3 acheteurs ont accès aux biens dans les mêmes proportions (2 biens par acheteur et par jour) et les ventes se font aux prix de 1.5. Avec les deux mécanismes, le vendeur apprend à poser les prix minimums inférieurs à 1.5 et de ce fait, laisse les acheteurs enchérir à leurs prix de réservation. En revanche, dans le cas des rencontres décentralisées, les acheteurs ont accès aux biens dans les mêmes proportions et le prix est toujours égal à 1.5.

**Le vendeur évolue, les acheteurs hétérogènes ont des stratégies fixées mais hétérogènes.** Chaque acheteur  $i$  est prêt à payer un prix  $x_i$ . Si le prix d'ouverture (des enchères ou de la négociation) est plus faible que ce prix, l'acheteur propose le prix d'ouverture. L'acheteur 3 est prêt à payer 1. Dans le cas des enchères, le vendeur apprend à ne sélectionner les prix de fermeture supérieurs à 1. L'acheteur 3 est de ce fait éliminé du marché puisque les 2 autres

acheteurs enchérissent toujours à des prix plus élevés que son prix : l'acheteur 1 enchérit à 3 et l'acheteur 2 à 2. En cas de négociation. Dans le cas des rencontres décentralisées, le vendeur sélectionne les actions qui lui permettent de faire payer aux vendeurs exactement leurs prix de réserve (3, 1.5 et 1) et chaque acheteur achète 2 unités par jour.

## **Evolution bilatérale**

Comme dans le cas de l'évolution unilatérale, nous testons deux situations. Dans la première situation, l'offre est égale à la demande, il n'y a pas de concurrence entre les acheteurs. Dans la seconde situation, l'offre est inférieure à la demande, il y a ainsi concurrence entre les acheteurs. Nous traitons globalement les 4 cas possibles. Pour chaque population d'acheteurs, nous analysons la répartition des biens et le niveau des prix pratiqués dans les dernières périodes des simulations.

### **Niveau des prix**

Le tableau 2 présente les prix moyens pratiqués sur le marché à long terme et les variations journalières observées (après 17000 périodes). Le tableau met en évidence les faits suivants :

1. Le niveau des prix est lié aux système utilisé (enchères ou négociations). Il est relativement bas dans le cas des négociations. Par exemple, si on prend le cas sans concurrence entre acheteurs homogènes, on sait qu'en payant moins de 1.5, les acheteurs réalisent un profit positif. Or, les prix observés sont relativement stables et de l'ordre de 0.42 dans le cas des enchères et 0.46 dans le cas de négociations.
2. La présence de concurrence entre les acheteurs augmente systématiquement le niveau des prix dans le cas des enchères puisque les prix moyens passent de 0.42 à 1.22 dans le cas des enchères avec acheteurs homogènes. Ce phénomène est affaibli dans le cas des négociations puisque les prix ne passent que de 0.46 à 0.51 ;
3. La présence d'hétérogénéité entre les acheteurs augmente les variations de prix au cours de la journée dans les négociations (bien plus que dans les enchères) puisque les variations journalières augmentent en passant de 0.03 à 0.26.
4. Le système d'enchères se révèle plus efficace pour les vendeurs (prix supérieurs dans les enchères) lorsqu'il y a de la concurrence entre les acheteurs (les prix sont quasiment doublés). En revanche, lorsqu'il n'y a pas de concurrence entre les acheteurs, les

négociations sont plus efficaces puisque les prix y sont au moins supérieurs (toujours pour le vendeur).

Prix de vente	enchères	Négociations
<b>Acheteurs homogènes</b>		
Concurrence entre acheteurs	1.22 (0.043)	0.51 (0.03)
Sans concurrence entre acheteurs	0.42 (0.042)	0.46 (0.057)
<b>Acheteurs hétérogènes</b>		
Concurrence entre acheteurs	1.01 (0.04)	0.64 (0.26)
Sans concurrence entre acheteurs	0.38 (0.06)	0.61 (0.22)

TAB. 2 – Niveau des prix à long terme et leurs variations journalières en cas de co-évolution des agents : Le tableau présente les prix moyens et les variations observées au cours de la journée entre parenthèses dans les simulations. Les résultats présentés concernent les enchères et les négociation de gré à gré dans 4 situations : avec acheteurs homogènes ou hétérogènes et avec ou sans concurrence entre les acheteurs.

Dans le système des enchères, la concurrence provoque une nette augmentation des prix pour la raison suivante. Etant donné que l'offre est inférieure à la demande, il existe toujours au moins un acheteur qui n'a pas obtenu la quantité désirée. Selon nos hypothèses sur le processus d'apprentissage, cet acheteur sait que les biens ont été vendus à d'autres acheteurs. Il connaît les prix et en déduit que s'il avait enchéri à un prix plus élevé que celui de l'autre acheteur, il aurait remporté l'enchère. Selon les paramètres choisis, 2 acheteurs sur trois peuvent être satisfaits. Leur apprentissage permet aux acheteurs de 'coopérer' indirectement jusqu'à ce que le niveau de prix soit tel que le troisième acheteur préfère ne 'pas enchérir'. Ce phénomène n'est pas présent dans les négociations puisque les acheteurs n'ont pas accès aux données concernant les transactions des autres acheteurs et que le processus d'apprentissage du vendeur ne lui permet pas de comparer les acheteurs entre eux ou de se servir de son expérience avec un acheteur pour décider du comportement à adapter avec un autre acheteur.

### **Allocation de biens**

Lorsqu'il n'y a pas de concurrence ou lorsque les acheteurs sont homogènes, les biens sont alloués équitablement entre les acheteurs. Lorsqu'il y a de la concurrence, des acheteurs hétérogènes et que les transactions se font par le biais de négociations, les biens sont encore alloués équitablement entre les acheteurs. Ce fait n'est pas une conséquence des simulations, mais est une conséquence directe de l'hypothèse sur l'indépendance des rencontres dans le cas des négociations de gré à

gré. Dans les enchères, les acheteurs avec une valeur limite plus élevée remportent prioritairement les biens. Les acheteurs 1 et 2 achètent plus de 96% des biens. L'acheteur 3 n'achète que 4% des biens. Les prix pratiqués dans ce cas là semblent imposés par les 2 acheteurs les plus puissants pour écarter le dernier acheteur des enchères (l'acheteur avec la plus faible valeur limite). En effet, au prix imposé par les 2 acheteurs ( $\sim 1.20$ ), le dernier acheteur préfère ne rien acheter plutôt que d'acheter et de recevoir un profit négatif. Lors de négociations, le vendeur négocie indépendamment avec les acheteurs et aucune concurrence ne s'exerce entre ces acheteurs.

### **Apprentissage acheteurs/vendeurs**

Dans le cas des enchères et dans le cas de la négociation de gré à gré, les actions des acheteurs sont les premières à être sélectionnées. Celles des vendeurs le sont ensuite et dépendent des actions sélectionnées par les acheteurs. Contrairement à ce que nous attendions, les acheteurs évoluent et le vendeur s'adapte et sélectionnent les prix d'ouverture et de fermeture : si les acheteurs apprennent à enchérir à  $x$ , le vendeur choisit les prix de fermeture des enchères inférieurs à  $x$  et le comisseur priseur choisit les prix d'ouverture des enchères supérieurs à  $x$ .

## **Conclusion**

Nous avons pu voir ici que l'utilisation des systèmes multi-agents apparaît être un outil puissant pour établir une comparaison entre des mécanismes de marché alors que des outils tels que la théorie économique et la théorie des jeux ne nous apportent des réponses claires que dans des situations extrêmement simples. En effet, la théorie de jeux n'a pas, à ce stade, permis de mettre en évidence l'impact réel de la présence d'enchères ou de négociations de gré à gré sur des marchés pour le même bien. Dans le cas des enchères ascendantes classiques, la théorie des jeux prédit clairement que le vendeur devrait prendre tout le surplus (c'est à dire que l'acheteur devrait payer le prix qui lui permet d'obtenir un profit nul). Dans le cas des enchères descendantes, considérées ici, les prévisions sont moins claires, si tous les acheteurs enchérissent optimalement selon la théorie des jeux, des situations inefficaces où l'acheteur avec la deuxième valeur obtient l'objet peuvent survenir [Milgrom,2004]. De même, dans le cas des négociations, la théorie des jeux ne nous apporte pas de réponse précise quant aux stratégies optimales que les agents devraient utiliser.

Dans tous ces cas, le problème est que la théorie ne permet pas une analyse des cas qui res-

semblent aux situations empiriques que nous avons étudiées. En revanche en faisant des simulations, nous avons pu comparer l'impact du mécanisme de marché sur les prix et les quantités échangées dans un marché de biens périssables. Pour ce faire, nous avons donc représenté un marché périssable utilisant deux mécanismes de marché. Nous n'en sommes pas encore au point où nous pouvons comparer les faits stylisés du marché simulés avec ceux d'un marché réel ou avec certains résultats théoriques présentés dans la littérature économique. Nous avons eu ici pour ambition de mettre en exergue l'impact direct du mécanisme de marché sur les prix et les quantités échangées dans le contexte du modèle stylisé que nous avons développé.

Les résultats des simulations mettent en évidence un problème de base en économie la difficulté des agents à apprendre simultanément. L'apprentissage se révèle plus efficace quand il ne concerne qu'un seul coté du marché. Nous avons montré ici que l'utilisation d'heuristiques dans un contexte où les deux cotés du marché apprennent ne permettent pas aux agents de maximiser leurs profits puisque les vendeurs n'optimisent pas leurs comportements (ils n'apprennent pas à faire payer aux acheteurs leurs prix limites). Ils ont plutôt un comportement d'adaptation puisqu'ils adaptent leurs stratégies aux stratégies sélectionnées par leurs partenaires. Nous précisons à cet effet que plus le nombre d'acheteurs augmente, plus les vendeurs mettent de temps à s'adapter au comportements de leurs acheteurs. C'est la raison pour laquelle nous nous sommes restreint à présenter ici le cas avec 3 acheteurs. Cet apprentissage est d'autant plus difficile que le nombre d'agents augmente

Lorsque nous regardons ce qui arrive avec un apprentissage des deux cotés du marché. Nos simulations aboutissent à des situations où les vendeurs semblent ajuster leurs comportements en fonction des actions sélectionnées par les acheteurs et ce double apprentissage, déjà observé par [Kirman & Vriend, 2001], empêche la convergence vers un équilibre où aucun des deux joueurs à intérêt à changer de stratégie pour améliorer son profit <sup>18</sup>. Ils apprennent à utiliser des règles seuils où les seuils résultent des stratégies des acheteurs (qu'elles soient apprises ou imposées). Les prix convergent et tous les biens sont vendus. Lorsque les acheteurs ont des valeurs de réservation différentes, le vendeur arrive à discriminer les acheteurs dans le cas de la négociation et dans le cas des enchères. Pour cela, le vendeur se restreint à poser un prix de fermeture des enchères inférieur à la valeur de réservation de tous les acheteurs. Ainsi, pour le vendeur, les deux systèmes apparaissent équivalents lorsque les acheteurs sont homogènes et que l'offre égale la demande. Cependant, si l'on rajoute de la concurrence entre les acheteurs hétérogènes, les enchères se révèlent plus efficaces et la répartition des biens dans les enchères

---

<sup>18</sup>Ce qui correspond au concept d'équilibre de Nash

se fait en faveur des acheteurs ayant une valeur de réservation élevée. A ce stade et en ce qui concerne les acheteurs avec une valeur de réservation élevée, les enchères se révèlent plus efficaces pour le vendeur puisqu'elles arrivent à augmenter les prix, puisqu'elles permettent de transacter la quantité optimale et donc, de recevoir un gain meilleur que celui obtenu lors des négociations. En revanche, l'acheteur avec la plus faible valeur de réservation obtient un gain supérieur lors de négociations puisque le vendeur s'adapte à lui et n'apprend pas à l'éliminer du marché comme le font les acheteurs dans les enchères.

Le modèle présenté ici est très simple afin de permettre une comparaison claire entre deux mécanismes de formation des prix. Ce modèle n'est cependant pas suffisamment réaliste, et les règles de décision des agents se révèlent parfois trop adaptatives et pas assez stratégiques. Cette question du seuil de simplification des systèmes multi-agents est une question centrale adressée par les chercheurs en économie artificielle. Le choix du 'modèle', la représentation des connaissances et de l'apprentissage des individus nécessite un arbitrage entre le niveau de réalisme du modèle et le niveau de simplicité nécessaire du modèle. Les conclusions que l'on peut tirer de ce type d'étude sont amoindries par une hyper-spécification plausible du modèle. Les résultats obtenus dépendent des règles. Il est donc ainsi nécessaire d'étudier l'impact relatif à chaque hypothèse. Par la suite, les étapes suivantes consistent à enrichir les règles d'apprentissage pour donner aux vendeurs la capacité d'apprendre, au moins à partir de leurs propres expériences, la relation entre l'offre et la demande sur le marché. Une complexification par étape est souvent adaptée et sera adoptée dans nos prochaines contributions. A court terme, la prochaine étape concrète de ce travail consiste ainsi à intégrer dans les négociations l'idée selon laquelle le gain engendré par une offre refusée par l'acheteur n'est pas toujours nul parce qu'elle contient de l'information et peut, comme il est observé sur le marché réel, permettre de discriminer les acheteurs entre eux.

## Bibliographie

- [Aboulafia,1997] Aboulafia, M. (1997), *Making Markets : Opportunism and Restraint on Wall Street*. Cambridge : Harvard University Press.
- [Amblard & Phan,2006] Amblard, F., & Phan, D. (2006), *Modélisation et simulation multi-agents*. Lavoisier.
- [Axelrod,1984] Axelrod, R. (1984), *The evolution of cooperation*. New York : Basic Books.



- [Binmore,1990] Binmore, K. (1990), *Essays on the Foundations of Game Theory*. Cambridge MA : BasilBlackwell.
- [Brenner,2002] Brenner, T. 2002. A Behavioural Learning Approach to the Dynamics of Prices. *Computational Economics*, February, 67–94.
- [Bulow & Klemperer,1996] Bulow, J., & Klemperer, P. 1996. "Auctions Versus Negotiations". *American Economic Review*, 86(1), 180–194.
- [Camerer,2003] Camerer, C., 2003, *Behavioral Game Theory*. Princeton University Press.
- [Christiansen & Altaweel,2006] Christiansen, J.H., & Altaweel, M., 2006, "Simulation of Natural and Social Process Interactions". *Soc. Sci. Comput. Rev.*, 24(2), 209–226.
- [Drougoul,2006] Drougoul, A., Corbara, B., & Lalande, S. 1995. MANTA : New Experimental Results on the Emergence of (Artificial) Ant Societies.
- [Duffy,2006] Duffy, J., 2006, "Agent-Based Models and Human Subject Experiments". Chap. 19, pages 949– 1011 of : Tesfatsion, L., & Judd, K.L. (eds), *Handbook of Computational Economics*, vol. 2. Elsevier. available at <http://ideas.repec.org/h/eee/hecchp/2-19.html>.
- [Epstein & Axtell,1996] Epstein, J.M., & Axtell, R.L. (1996), *Growing Artificial Societies : Social Science from the Bottom Up*. Washington, D.C. : Cambridge, Massachuuesetts, and Washington D.C. : MIT Press.
- [Graddy,2006] Graddy, K., 2006, "Markets : The Fulton Fish Market". *The Journal of Economic Perspectives*, 20(2), 207–220.
- [Henrich et al.,2001] Henrich, J., Boyd, R., Bowles, S., Camerer, C., Fehr, E., Gintis, H., & Mcelreath, R., 2001, "In Search of Homo Economicus : Behavioral Experiments in 15 Small-Scale Societies". *American Economic Review*, 91(2), 73–78. available at <http://ideas.repec.org/a/aea/aecrev/v91y2001i2p73-78.html>.
- [Heylighen,1991] Heylighen, F. 1991. "Modelling emergence". *The Journal of General Evolution*, 31 (Special Issue on Cretive Evolution), 89–104.
- [Kirman,2006] Kirman, A., 2006, "Heterogeneity in economics". *Journal of Economic Interaction and Coordination*, 1(1), 89–117.

- [Kirman & Vignes,1991] Kirman, A., & Vignes, A., 1991, "Price Dispersion : Theoretical Considerations and Empirical Evidence from the Marseilles Fish Market". In : Arrow, Kenneth J. (ed), *Issues in Contemporary Economics : Proceedings of the Ninth World Congress of the International Economic Association*, Athens, Greece. New York : New York University Press.
- [Kirman et al.,2005] Kirman, A., Schulz, R., Hardle,W., & Werwatz, A., 2005, "Transactions That Did Not Happen and Their Influence on Prices". *Journal of Economic Behaviour and Organization*, 56, 567–591.
- [Kirman & Vriend,2001] Kirman, A., & Vriend, N.J. 2001. "Evolving Market : An ACE Model of Price Dispersion and Loyalty". *Journal of Economics Dynamics and Control*, 25(3/4), 459–502.
- [Manelli & Vincent,1995] Manelli, A. M., & Vincent, D. R., 1995, "Optimal Procurement Mechanisms". *Econometrica*, 63(3), 591–620.
- [McMillan,1994] McMillan, J., 1994, "Selling spectrum rights". *Journal of economics perspectives*,8.
- [McMillan,2004] Mcmillan, J. (2003) *Reinventing the Bazaar : A Natural History of Markets*. W. W. Norton & Company.
- [Milgrom,1986] Milgrom, P. 1986. "Auction theory". Pages 1–32 of : Bewley, T (ed), *Advances in Economic theory :fifth world congress of the Econometric Society*. London : Cambridge University Press.
- [Milgrom,2004] Milgrom, P. (2004), *Putting auction theory to work*. Cambridge : Cambridge University Press.
- [Muthoo,1999] Muthoo, A. (1999), *Bargaining Theory with Applications*. Cambridge University Press.
- [Myerson and Satterthwaite,1983] Myerson, R., & Satterthwaite, M., 1983, "Efficient mechanisms for bilateral trading". *Journal of Economic Theory*, 265–281.
- [North,1977] North, D. 1977. "Markets and other Allocation Systems in History". *Journal of European Economic History*, 6, 703–716.

- [Progbena,2006] Progrebna, G., 2006 (December), "Auctions, versus Bilateral Bargaining : Evidence from a Natural Experiment".
- [Rivaud,2004] Rivaud-Danset, D., & Vignes, A., 2004, "Le capital-risque et ses deux marchés". *Revue d'Economie Industrielle*, 107, 171–194.
- [Roth et al.,1991] Roth., A.E., Prasnikar, V., Okuno-Fujiwara, M., & Zamir, S., 1991, "Bargaining and Market Behavior in Jerusalem, Ljubljana, Pittsburgh, and Tokyo : An Experimental Study". *American Economic Review*, 81(5), 1068–95. available at <http://ideas.repec.org/a/aea/aecrev/v81y1991i5p1068-95.html>.
- [Rouchier,2004] Rouchier, J., 2004 (May), "Interaction routines and selfish behaviours in an artificial market". Workshop of Economics with Heterogenous Interacting Agents, Kyoto.
- [Soufflet,1987] Soufflet, J-F., 1987, "Les marchés de gré à gré dans l'évolution des filières agro-alimentaires". *Agriscopes*, 10, 37–44.
- [Tesfatsion,2005] Tesfatsion, L., 2005 (July), "Agent-Based Computational Modeling and Macroeconomics". *Economic Report 05023*, Iowa State University.
- [Vaudois,1985] Vaudois, J., 1985, "Le rôle des marchés aux enchères dégressives". *Economie Rurale*, janvier/fevrier, 12–17.
- [Vriend,2000] Vriend, N., 2000, "An Illustration of the Essential Difference between Individual and Social Learning, and its Consequences for Computational Analyses". *Journal of Economic Dynamics and Control*, 24, 1–19.
- [Weber,1997] Weber, R., 1997, "Making more from less : strategic demand reduction in the FFC spectrum auctions". *Journal of Economic and Management Strategy*, 529–548.
- [Weisbuch,2000] Weisbuch, G., Kirman, A., & Heirreiner, D., 2000, "Market organisation and trading relationships". *The Economic Journal*, April.
- [Xiaohua & McAfee,1996] Xiaohua, L., & McAfee, R.P., 1996, "The Evolutionary Stability of Auctions over Bargaining". *Games and Economic Behavior*, 15(2), 228–254.
- [Young,1993] Young, P.H., 1993, "The Evolution of Conventions". *Econometrica*, 61(1), 57–84. available at <http://ideas.repec.org/a/ecm/emetrp/v61y1993i1p57-84.html>.

[Young,1998] Young, P.H. 1998. Individual Strategy and Social Structure. Princeton University Press.